Traces de l'activité de diplopodes dans des sols et des sédiments karstiques du Maroc Atlantique

Colette JEANSON *, Hsaïn EL AISSAOUI ** Jean-Pierre ADOLPHE **

* CNRS, Laboratoire d'Écologie Générale, Muséum National d'Histoire Naturelle
4, avenue du Petit Château, F- 91800 Brunoy, France
** Laboratoire de Géomicrobiologie, Université Pierre & Marie Curie, 4, place Jussieu, F-75005 Paris, France

RÉSUMÉ

Une étude pluridisciplinaire et multiscalaire conduit les auteurs à utiliser des données de la pédozoologie pour interpréter des observations sédimentologiques et géologiques. Les concrétions carbonatées des sédiments karstiques, des agrégats terreux de sols actuels et les déjections obtenues expérimentalement par élevage de *Glomeris marginata* (Diplopoda, Glomerida), présentent une très nette analogie morphologique et physicochimique. Des relations sont établies entre les phénomènes de pédobioturbation, paléobioturbation et sédimentation.

ABSTRACT

Activity traces of millipedes in soils and karstic sediments in Atlantic Morocco.

The authors are carrying into effect a pluridisciplinary and multiscalar approach for using pedozoology data to interpret sedimentological and geological observations. Carbonated concretions of karstic sediments, earthy aggregates of Present soils, and experimental feacal pellets of *Glomeris marginata* (Diplopoda, Glomerida) show a very clear morphological and physico-chemical analogy. Relationships are then identified between pedobioturbation, paleobioturbation and sedimentation phenomena.

INTRODUCTION

Les formations carbonatées continentales du Haut-Atlas occidental marocain montrent un développement spatial important et présentent une grande diversité de faciès : des revêtements pelliculaires sur les galets des oueds, des croûtes en dalles compactes, des croûtes zonaires laminées, des croûtes conglomératiques, des édifices travertineux et des concrétionnements pédo-karstiques (ADOLPHE, 1981 ; HOURIMÈCHE, 1988). La démarche initiale de cette étude consiste à circonscrire et à décrire sur le terrain le domaine des concrétionnements pédo-karstiques constitués par des assemblages de concrétions carbonatées de quelques millimètres en forme de "cocons". Cela dans le but de tenter de comprendre leur origine, les conditions de leur mise en place et leurs relations avec les microorganismes de leur environnement (ADOLPHE *et al.*, 1995).

JEANSON, C., EL AÏSSAOUI, H. & ADOLPHE, J.-P., 1996. — Traces de l'activité de diplopodes dans des sols et des sédiments karstiques du Maroc atlantique. *In*: GEOFFROY, J.-J., MAURIÈS, J.-P. & NGUYEN DUY - JACQUEMIN, M., (eds), Acta Myriapodologica. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, **169** : 555-560. Paris ISBN : 2-85653-502-X.

Source : MNHN, Paris

A cette occasion, nous avons également mis en évidence le rôle de myriapodes diplopodes dans l'élaboration de telles concrétions. Ce travail concerne des échantillons provenant de deux des sites de l'étude entreprise sur les concrétionnements carbonatés dans le Haut-Atlas.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Localisation des sites : Imouzzer et Taliwine

Le site d'Imouzzer fait partie du domaine des Ida-ou-Tanane, zone la plus montagneuse de l'Atlas atlantique, au cœur d'un anticlinal incisé par l'Oued Tidili qui entame les calcaires du Lias supérieur jusqu'au contact avec les argiles du Lias inférieur.

La coupe type du "gisement" à concrétions carbonatées est située sur la rive gauche de l'oued Tidili à 1 km de la cascade d'Imouzzer. Sur les collines, un paysage de glacis-cônes où les cavités (lapiès) de 1 à 5 cm de profondeur sont remplies d'un sol rouge résiduel à concrétions en "cocons" de couleur allant du rouge au noir. Au fond de la combe, l'oued entaille des terrasses quaternaires cultivées où les sols limoneux actuels contiennent aussi des concrétions en forme de "cocons". Cylindriques ou cylindroconiques, leur taille varie de 1 mm à 2 mm de longueur.

Le site de Taliwine sur le flanc sud du Haut-Atlas occidental présente un "gisement" moins important que le précédent. La coupe représentative est levée près de Bouyalgua à 1 km à l'ouest de Taliwine.

Au laboratoire. Analyse morphologique, minéralogique et géomicrobiologique.

Les échantillons entiers sont photographiés puis examinés à la loupe binoculaire. Des lames minces y sont taillées après induration puis examinées au microscope polarisant pour l'identification des matériaux organiques et des minéraux.

Le microscope électronique à balayage apporte un complément d'informations au niveau ultramicroscopique sur l'état de surface des concrétions et sur les microorganismes qui s'y développent.

RÉSULTATS

Sur le terrain

A Imouzzer, les concrétions sont localisées dans la partie marno-calcaire des coupes selon un système lenticulaire à répartition discontinue. La taille des lentilles varie de 1 cm d'épaisseur et 10 cm de longueur à 40 cm d'épaisseur et 150 cm de longueur. Ces dernières sont situées au sommet des coupes et parfois superposées par groupe de deux ou trois. Les concrétions y sont regroupées en amas irrégulièrement consolidés par une matrice également marnocalcaire.

La majorité des lentilles de concrétions est de couleur blanche et grise ; les autres sont colorées de jaune à rouge-brun par des oxydes de fer. Souvent, la base des lentilles est tapissée d'une croûte pelliculaire de quelques millimètres (croûte zonaire).

A la partie sommitale des mêmes coupes, un banc de calcaire dur de 30 cm environ est surmonté d'un sol résiduel de couleur rouge qui remplit des cavités de dissolution (lapiès). Ce paléosol renferme aussi des concrétions cylindriques, cylindroconiques, voire ovoïdes de couleur rouge à noire.

A Taliwine, les lentilles de concrétions sont localisées au sommet de la coupe dans une formation marno-schisteuse. Elles ont de 1 à 10 cm d'épaisseur et de 20 à 150 cm de longueur et sont disposées de façon discontinue sans aucun regroupement particulier. Les concrétions ont la même forme que les précédentes et sont de couleur grise et blanche.

Au laboratoire

A la loupe binoculaire, on note une homogénéité morphologique des concrétions et une variabilité de leur couleur et de leur taille. La forme est cylindroconique, ovoïde ou subsphérique ; une extrémité est arrondie avec une légère dépression centrale, l'autre présente souvent une petite protubérance subtriangulaire légèrement incurvée (Fig. 1). Leur taille varie de 1 mm x 0,5 mm à 2 mm x 1 mm. Dans l'ensemble, celles d'Imouzzer sont plus grandes que celles de Taliwine.

La couleur des concrétions varie avec le milieu où elles se trouvent. Ainsi, dans les sols rouges remplissant les cavités de dissolution (lapiès), elles sont rouges ou noires. Dans les sols cultivés des terrasses, elles sont grises ou noires. Dans les lentilles enclavées dans les formations

Source : MNHN, Paris

carbonatées, elles sont en général blanches mais il existe aussi quelques lentilles beige-rosé ou rouges colorées par les oxydes de fer.

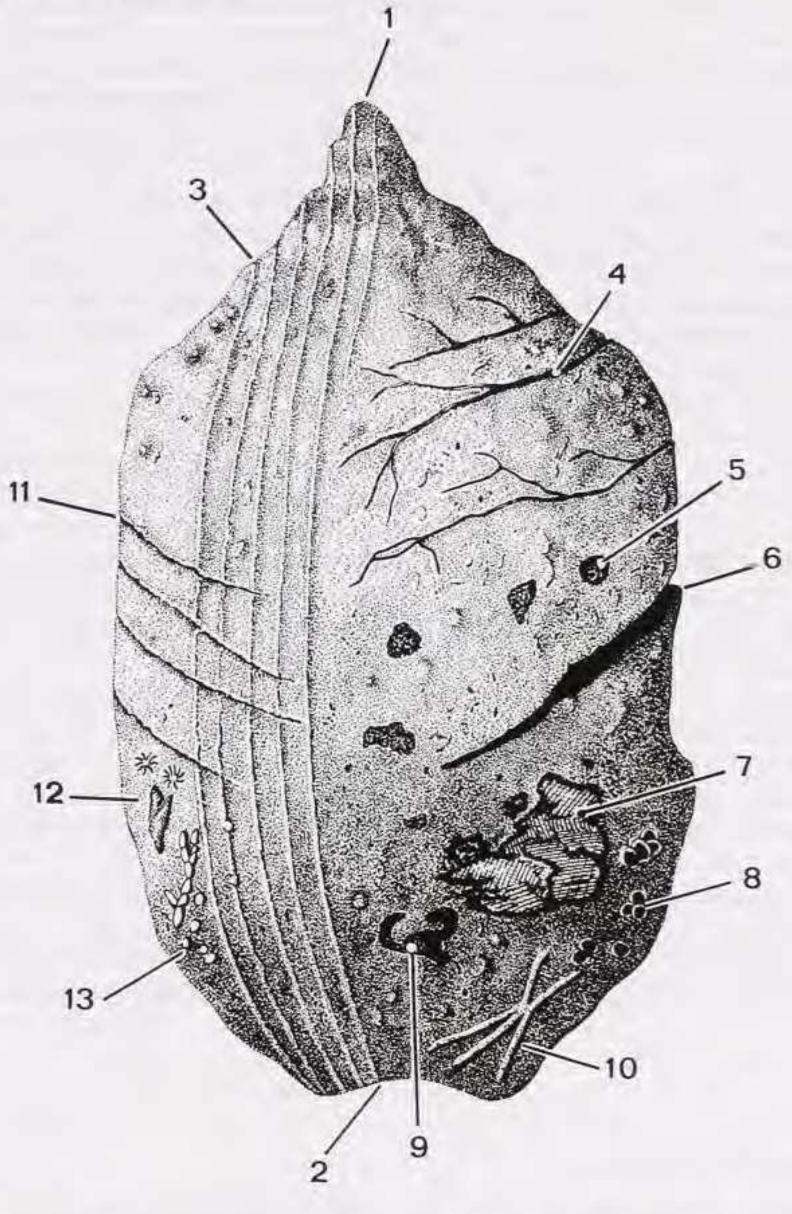

FIG. 1. — Concrétion - déjection cylindroconique de *Glomeris* sp. (Myriapode, Diplopode) ; longueur 1 à 2 mm ; schéma de synthèse de la surface d'après photos à la loupe binoculaire et au microcope à balayage (m.e.b.) : 1. extrémité antérieure à protubérance conique. 2. extrémité postérieure à dépression centrale. 3. rainures et cannelures entre les deux extrémités. 4. traces de mycélium. 5. taches de carbonate de calcium ou d'oxydes ferriques. 6. cassure. 7. débris végétaux. 8. turricules de nématodes, à la surface. 9. id. dans une cavité. 10. canalicules, sillons, pistes de nématodes. 11. stries obliques de frottement. 12. cristaux de calcite, en rosette, en baguette, au m.e.b. 13. bactéries filamenteuses et en sphérules, au m.e.b.

FIG. 1. — Cylindroconic fæcal pellet of Glomeris *sp. (Diplopoda); length: 1 to 2 mm. Synthetic drawing after photographs (Stereomicroscope and SEM). 1. anterior end with cone-shaped protuberance. 2. posterior end with central depression. 3. grooves and striations between the two ends. 4. mycelium traces. 5. stains of calcium carbonate or ferric oxydes. 6. break. 7. vegetal fragments. 8. nematod excreta, on the surface. 9. id., in a cavity. 10. small grooves and nematod trails. 11. rubbing oblique scores. 12. rosette and stick-shaped calcite crystal, SEM. 13. filamentous and spheruleous bacteria, SEM.*

Source : MNHN, Paris

La surface des concrétions est ornementée de traces, d'empreintes, de cavités, de minuscules monticules, de fins débris végétaux. Des réseaux de fins sillons et des canalicules ramifiés, parfois colorés en blanc ou en noir, s'insinuent entre des corpuscules sphériques isolés ou regroupés par trois ou quatre. Les réseaux sont discontinus et ne couvrent qu'une partie de la surface de la concrétion. Une minuscule cavité est parfois présente, proche de l'extrémité arrondie de la concrétion et de très petits turricules en garnissent souvent le fond (Fig. 1 [9]).

La microtopographie de la surface des concrétions est aussi marquée par des cannelures et des rainures plus ou moins rectilignes qui rejoignent les deux extrémités à intervalle régulier (Fig. 1[3]). Les débris végétaux ou leurs empreintes, des fragments translucides de filaments mycéliens sont nettement visibles. Il existe aussi des microcassures, fractures, fissures parfois remplies d'une substance noire (Fig. 1[6]) et de fines cristallisations en baguette et en rosette.

Autant de traces des étapes successives de la construction et de la mise en place de la concrétion, de l'impact de l'environnement et de l'évolution consécutive qu'il va falloir interpréter dans le temps et l'espace.

Au microscope polarisant, l'examen des lames minces fait apparaître trois sortes de concrétions : minérales, organiques, organominérales.

Les concrétions minérales sont blanches, constituées de micrite, de microsparite, de rares cristaux de quartz, de quelques constituants noirs amorphes de matière organique décomposée. La matrice est une calcite et l'ensemble de la lame présente une structure compacte et homogène.

Les concrétions brun-noir contiennent des débris organiques allongés, souvent disloqués, de couleur noire, jaune ou brun-rouge où les tissus végétaux sont encore visibles. Quelques cristaux de quartz et de micrite y sont parfois associés. Ces concrétions sont poreuses et l'ensemble de la lame présente une structure alvéolaire peu indurée.

Les concrétions grises ont une composition mixte organo-minérale. La micrite et la microsparite sont associées à une matière organique amorphe et sans structure visible ou à des fantômes de débris organiques. Ces concrétions ont une structure relativement compacte.

Les concrétions brun-rouge appartiennent à l'une des catégories ci-dessus. Elles ont une matrice colorée par les oxydes de fer et sont beaucoup plus dures que les précédentes et résistent mieux à la pression

Au microscope électronique à balayage, la surface des concrétions présente: 1) des corpuscules sphériques de 0,1 µm à 1 µm en chapelet, 2) des enchevêtrements de filaments mycéliens, 3) des réseaux de sillons superficiels striés perpendiculairement à leur axe. Ces divers microorganismes et ces microtraces sont fortement minéralisés et associés à des aiguilles de calcite.

INTERPRÉTATION

Les concrétions-agrégats-déjections

Les concrétions de ces sols et sédiments sont comparables par leur taille, leur forme et quelques traits de leur micromorphologie externe, aux agrégats terreux décrits dans des sols bruns forestiers (JEANSON, 1981). Des agrégats identiques sont aussi construits par des myriapodes diplopodes, *Glomeris marginata* élevés dans des microcosmes en conditions contrôlées selon la méthode de pédozoologie expérimentale (JEANSON, 1968).

D'autres types d'agrégats, construits par vingt cinq espèces d'invertébrés terricoles et vasicoles actuels, ont été sélectionnés. Ces modèles sont proposés pour, éventuellement, servir à l'interprétation des phénomènes de biostructuration et bioturbation dans les paléosols étudiés en Géologie de la Préhistoire (JEANSON, 1987).

Dans les sols actuels, des agrégats analogues sont élaborés et construits par des *Glomeris* et sont en réalité des déjections déposées dans les premiers centimètres. Le matériel consommé y est encore bien visible : de nombreux fragments végétaux sont reconnaissables à leur structure

Source : MNHN, Paris

cellulaire et souvent associés à une matière minérale limono-argileuse. Ces agrégats-déjections sont ainsi des indices : par leur forme, des animaux terricoles qui les ont construits ; par leur constituants, du milieu d'où ils proviennent ; par l'état de leur surface, de l'évolution de leur environnement.

La couleur et l'état de la surface des concrétions peuvent ainsi être interprétées à la lumière des données biopédologiques actuelles :

- les concrétions blanches sont formées surtout de carbonate de calcium, les noires, de matière organique humifiée, les grises, d'un mélange des deux ;
- les concrétions rouges, brunes, beiges sont colorées par des oxydes de fer à des degrés de concentration variables. Cette diversité de couleurs est à mettre en relation avec l'importance du déplacement des oxydes de fer et leur accumulation dans les concrétions.

Dans l'état actuel de nos investigations, la chronologie de la coloration serait la suivante : des concrétions-déjections élaborées à partir du sédiment du sol sont de la couleur brunâtre de ce dernier, par la suite elles blanchissent progressivement en se minéralisant par le carbonate de calcium sous l'influence des bactéries calcifiantes. Les concrétions imprégnées d'oxydes de fer prennent une coloration brun-rouge, parfois marquée de taches blanches, indices d'une carbonatation en cours.

L'interprétation des microtraces de la surface des concrétions est biologique ou physicochimique.

Des cannelures joignent les deux extrémités ; elles sont plus marquées sur la partie conique des concrétions et dues à l'empreinte de la partie terminale du tube digestif des *Glomeris*. La partie conique émise en dernier correspond ainsi à la partie antérieure de l'animal. Cette extrémité est parfois érodée ou absente ce qui donne à la concrétion une forme subovoïde, et pourrait constituer un indice de déplacement par ruissellement.

Les sillons marqués en creux et peu ramifiés pourraient être des traces laissées par des nématodes. Une trentaine d'espèces de ces vers bactériophages et mycophages peuvent proliférer dans les déjections actuelles de *Glomeris hexasticha* (TAJOVSKY *et al.*, 1992). Ils pourraient aussi être à l'origine des petits turricules et de la logette située à l'extrémité arrondie.

Les sillons peu marqués et plus ramifiés pourraient être des traces laissées par des filaments mycéliens. En effet, dans des déjections actuelles de *Glomeris marginata*, une quinzaine d'espèces de champignons se succèdent au cours de leur décomposition (NICHOLSON *et al.*, 1966). Les petits lambeaux transparents et luisants qui subsistent par endroits sur les concrétions-déjections pourraient être des vestiges des réseaux mycéliens. Ils sont parfois colorés en noir par la matière organique issue de leur décomposition ou de substances organiques qui ont migré. Ils peuvent être aussi colorés en blanc par le carbonate de calcium très visible sur les concrétions ferruginisées. Les corpuscules sphériques en chapelet sont des bactéries ou des cyanobactéries. Cette microflore est souvent associée à une forte minéralisation caractéristique des dépôts microkarstiques et pédologiques. Les cristaux calciques en baguettes ou en rosettes, à la surface des concrétions-déjections, sont d'origine bactérienne (ADOLPHE *et al.*, 1989).

Les lentilles et amas de concrétions

Les concrétions carbonatées s'accumulent en amas en forme de lentilles, dans des fentes ou des cavités du réseau karstique souvent délimitées par de fins dépôts calcaires en lamelles rubanées.

L'hypothèse proposée pour interpréter la genèse de ces formations géologiques externes fait appel à des phénomènes pédologiques, biologiques et climatiques : un couvert végétal forestier et une litière abondante ont pu favoriser le développement des populations de diplopodes. Des phases de destruction de la forêt ont pu favoriser l'érosion des sols et le

Source : MNHN, Paris

ruissellement, l'entraînement et l'accumulation des déjections de diplopodes dans des zones préférentielles du réseau karstique.

Les déjections riches en matière organique déja décomposée et associée au mucus digestif des diplopodes constituent des micro-milieux propices au développement des microorganismes. La circulation de solutions bicarbonatées et ferreuses induit ensuite une carbonatogenèse bactérienne et une concentration d'oxydes ferriques. Les déjections, d'abord organiques, deviennent organominérales puis se transforment en concrétions minérales, carbonatées et/ou ferriques.

CONCLUSION

Les traces de l'activité des diplopodes dans des sols actuels et des sols expérimentaux sont matérialisées par des biostructures caractéristiques ; des agrégats terreux construits par ces arthropodes sont en réalité des déjections. Celles des *Glomeris* actuels sont comparables aux concrétions carbonatées rassemblées dans des formations lenticulaires de sédiments karstiques du Haut-Atlas Atlantique.

La nature, la forme, la structure, le degré d'altération et l'agencement spatial des matériaux minéraux et organiques de ces concrétions-agrégats-déjections permettent de proposer une chronologie des phénomènes qui sont à l'origine de leur apparition dans l'environnement.

Un champ d'investigation interdisciplinaire entre les Sciences de la Terre et les Sciences de la Vie, la “Pédozoologie”, a ainsi fourni des bases pour l'interprétation de faits sédimentologiques et géologiques. Cette démarche pourrait être appliquée à d'autres formations sédimentaires et se baser sur d’autres analogies avec des biostructures construites par divers animaux terricoles.

REMERCIEMENTS

Nous remercions vivement Jacques REBIÈRE, dessinateur au M.N.H.N., Laboratoire de Zoologie-Arthropodes (Paris), pour sa réalisation du schéma de synthèse.

RÉFÉRENCES

ADOLPHE, J. P., 1981. — Observations et expérimentations géomicrobiologiques et physico-chimiques des concrétionnements carbonatés continentauxs actuels et fossiles. Thèse Sciences, UPMC, *Mém. Sci. Terre*, Paris VI, 339 pp.

ADOLPHE, J. P., HOURIMECHE, A., LOUBIERE, J. F., PARADAS, J. & SOLEILHAVOUP, F., 1989. — Les formations carbonatées continentales d'Afrique du Nord. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (8), **V** : 55-62.

ADOLPHE, J. P., EL AISSAOUI, H., HOURIMECHE, A., PARADAS, J., SOLEILHAVOUP, F. & JEANSON, C., 1995. — Contribution à l'étude des biostructures. Exemple marocain. *In : Bassins sédimentaires africains. Actes du 4ème Colloque de Géologie africaine*. [118ème congrès national des sociétés historiques et scientifiques. Pau, 25-29 octobre 1993], Paris, Éditions du CTHS : 259-268.

HOURIMECHE, A., 1988. — *Étude sédimentologique et géomicrobiologique des dépôts quaternaires de la région d'Essaouira (Maroc)*. Thèse Sciences, UPMC, Paris VI, 222 pp.

JEANSON, C., 1968. — Essai de Pédozoologie expérimentale. Morphologie d'un sol artificiel structuré par les Lombricidés. *Mém. Mus. natn. Hist. nat., A*, **46** : 211-357.

JEANSON, C., 1981. — Structuration du sol par la faune terricole. Incidences sur les concentrations organominérales. *In : Migrations organominérales dans les sols tempérés. Colloque de Nancy 1979*. Nancy, Editions du CNRS : 114-123.

JEANSON, C., 1987. — Biostructures construites par la faune dans des sols et des sédiments actuels. Leur utilisation en Préhistoire. *In : Géologie de la Préhistoire*, Paris, Géopré : 725-735.

NICHOLSON, P. B., BOCOCK, K. L. & HEAL, O. W., 1966. — Studies on the decomposition of the faecal pellets of a millipede (*Glomeris marginata* (Villers)). *J. Ecol.*, **54** : 755-766.

TAJOVSKY, K., SANTRUCKOVA, H., HANEL, L., BALIK, V. & LUKESOVA, A., 1992. — Decomposition of faecal pellets of the millipede *Glomeris hexasticha* (Dipopoda) in forest soils. *Pedobiologia* , **36** : 146-158.

Source : MNHN, Paris